

## پهنه‌بندی خطر زمین لرزه شهر نیشابور به روش قطعی

هادی علی‌نیا<sup>۱</sup>، دکتر علی‌اصغر مریدی فریمانی<sup>۲</sup>، نصیر نادری میقان<sup>۳</sup>

### چکیده

به منظور طراحی مناسب و بهسازی لرزه‌ای ابنیه‌های قدیمی و با ارزش، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لرزه مورد نیاز است. از آنجا که ساخت و سازهای قدیمی موجود در شهر نیشابور طول عمری بیش از ۵۰ سال دارند و برخی بناها نیز از ارزش و اهمیت تاریخی و مذهبی برخوردارند و نیز با توجه به وجود زلزله‌های بزرگ در پیشینه زلزله‌خیزی این شهر، ضرورت انجام پژوهش حاضر را آشکار می‌سازد. هدف از انجام این تحقیق، تحلیل خطر زلزله و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر در شهر نیشابور است. در این پژوهش با استفاده از منابع مختلف، کاتالوگ داده‌های لرزه‌خیزی در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ در شعاع ۱۵۰ کیلومتر نیشابور جمع‌آوری، و پارامترهای لرزه‌خیزی با توجه به گسل‌های فعال درگستره مورد مطالعه محاسبه گردید. پیشینه شتاب افقی وارد بر شهر نیشابور حاصل از گسل شمال نیشابور با توان لرزه‌زایی ۷/۰۵۷ ریشتر  $g$  ۰/۴۳۳ شتاب ثقل زمین محاسبه گردید؛ این در صورتی است که گسل در فاصله ۸/۸۲ کیلومتری شهر نیشابور فعالیت کند. در نهایت با توجه به PGA برآوردشده، نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از ابزار تحلیل‌گر زمین‌آماری ترسیم گردید.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، خطر زمین لرزه، روش قطعی، نیشابور، گسل فعال، تحلیل‌گر زمین‌آماری

### مقدمه

واقع شدن ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ- هیمالیا موجب شده اکثر مناطق پرجمعیت کشور مانند استان خراسان، استان آذربایجان و ناحیه البرز و ... مناطق فعال تکتونیکی به شمار آیند. خسارت‌های مالی و جانی قابل ملاحظه‌ای که در فواصل زمانی کوتاه در مناطق مختلف کشور (رودبار، اردبیل، بوم و غیره) متحمل شده‌اند، لزوم بررسی توان لرزه‌خیزی مناطق مسکونی به خصوص پرجمعیت و مهم از لحاظ صنعتی و فرهنگی را آشکار می‌سازد. وجود زلزله‌های بزرگ در پیشینه زلزله‌خیزی شهر نیشابور گواه بر این مطلب است. کشور ایران به شدت تحت تأثیر حرکت صفحه عربستان به سمت شمال شرق و شبه قاره هند به سمت شمال می‌باشد. فشارهای حاصل از این دو حرکت، موجب افزایش پتانسیل لرزه‌خیزی منطقه ایران شده است. بررسی زمین لرزه‌های تاریخی (آمبرسیزومولوژی، ۱۹۸۲) و زمین لرزه‌های ثبت شده در چند صدسال اخیر توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار<sup>۴</sup> (IIEES)، می‌تواند شاهدهی بر تحلیل‌های زمین‌شناختی متخصصان باشد. انتظار برای وقوع زلزله و تحلیل رخداد پس از وقوع زمین لرزه از حیث بزرگی، سازوکار و غیره، در جایی که ارتباط تنگاتنگی بین نوع، موقعیت، و سایر ویژگی‌های شناخته شدهی گسل‌های شناسائی شدهی منطقه و محل زمین لرزه‌ها در آن منطقه وجود دارد، نمی‌تواند منطقی باشد. پهنه‌بندی خطر زمین لرزه به روش‌های تجربی آماری، قطعی و احتمالی کمک شایانی در جهت آگاهی از

alinia4064@yahoo.com

aamoridi@yahoo.com

nasirnaderim@yahoo.com

4- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش تکتونیک دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شرق کشور

استعداد لرزه‌خیزی منطقه، ارائه الگوی مناسب ساخت‌وساز و گسترش شهری به دست می‌دهد. در این مطالعه با به کارگیری روش قطعی در برآورد خطر در نیشابور، پتانسیل لرزه‌خیزی منطقه بررسی شده است.

### زمین‌ساخت گستره مطالعاتی

گستره مورد مطالعه در استان خراسان رضوی واقع شده است که به ترتیب از شمال شرقی به جنوب غربی شامل کوه‌های چین‌خورده-گسله کپه داغ، فرونشست مشهد- قوچان، زمین‌درز پالئوتتیس، کوه‌های چین‌خورده-رانده نیشابور و ایران مرکزی می‌باشد (علوی، ۱۹۹۱: ۳۶۲). نیشابور از نظر زمین‌ساختی و بر پایه تقسیمات ساختاری رایج ایران بر روی زون ساختاری فعال و پرتکاپوی بینالود واقع گردیده است. کلیات اختصاصات این زون بشرح ذیل می‌باشد. گسترش اصلی زون بینالود بین نواحی سبزوار و نیشابور تا مشهد می‌باشد. حد جنوبی این زون، گسل میامی یا گسل شاهرود، و مرز شمال غربی آن را گسل عطاری در نظر گرفته‌اند. از سوی جنوب و جنوب غرب، دشت نیشابور، رشته کوه‌های بینالود را از مجموع افیولیتی تربت‌حیدریه، سبزوار و زون تکنار جدا می‌کند. با توجه به آن که سنگ‌های دگرگون شده و آذرین متعلق به این زون در آن سوی مرز (افغانستان) نیز قابل تعقیب است، حد شرقی بینالود تا کوه‌های پاراپامیسوس و کوه‌های هندوکش واقع در شمال شرقی افغانستان گسترش دارد. برخی شباهت‌های رخساره‌ای و تأثیر چین‌خوردگی باعث گردیده تا بینالود را زونی تدریجی بین ایران مرکزی و البرز در نظر بگیرند (نبوی، ۱۳۵۵: ۱۰۹).

### مواد و روش‌ها

#### گسل‌های اصلی گستره مورد مطالعه

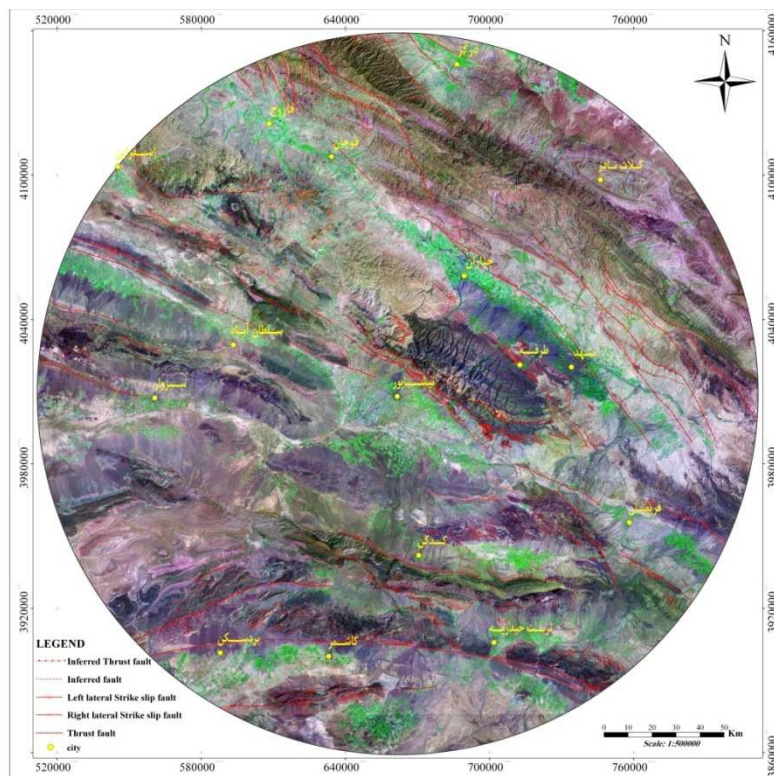
در مناطق لرزه‌خیز همواره رابطه‌ای بین گسل‌های اصلی منطقه و زمین‌لرزه‌های آن وجود دارد، مطالعه گسل‌های فعال می‌تواند پایه‌ای برای بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی در محدوده‌های مورد بررسی باشد. در این بخش گسل‌های فعال (گسلی در نظر گرفته شده که واحدهای کواترنر را قطع کرده باشد) محدوده مورد مطالعه تا شعاع ۱۵۰ کیلومتر پیرامون نقطه مرکزی (مرکز شهر نیشابور) توسط نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰، ۱:۱۰۰۰۰۰) و تصاویر ماهواره‌ای (Landsat ETM<sup>+</sup>) مورد بررسی قرار گرفته است. (جدول و شکل ۱).

جدول ۱: اسامی گسل‌های فعال گسترده مورد مطالعه، L (طول گسل) و R (نزدیکترین فاصله گسل تا شهر نیشابور)، همراه با سازوکار گسل‌ها

نام گسل	سازوکار	L(Km)	R(Km)	نام گسل	سازوکار	L(Km)	R(Km)
زو بالا	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۴۹/۳۳	۱۱۴/۷۲	کلاته گوش	تراست	۲۷/۴۰	۹۶/۴۷
زرقان	تراست	۳۳/۸۱	۹۹/۹۰	گوجگی	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۶۵/۵۸	۱۰۰/۸۰
توزانلو	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۳۴/۷۴	۱۲۹/۹۵	قوشه چاه	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۲۱/۸۴	۱۲۸/۴۹
تکنار	تراست	۸۷/۴۰	۸۴/۵۹	اسفجیر	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۲۱/۳۷	۱۲۸/۸۳
شوراب	امتداد لغز با مولفه چپگرد	۹۳/۷۷	۱۲۲/۶۲	اسفراین	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۵۹/۳۳	۹۶/۰۶۵
سریشا	تراست	۱۰۰/۰۱	۶۱/۸۷	دشت جغتای	تراست	۸۰/۱۱۹	۶۸/۸۳
سبه	تراست	۱۳/۶۷	۱۰۱/۴۸	درونه ۲	امتداد لغز با مولفه چپگرد	۱۲۶/۴۸	۱۰۴/۱۳
سنگ بست شاندریز	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۹۵/۲۷	۴۳/۱۰۱	درونه ۱	تراست	۶۳/۲۴	۱۰۹/۶۷
ریوند	تراست	۵۸/۲۸	۴۰/۰۲۰	بینالود	تراست	۹۷/۲۱	۱۳/۲۰۶
قوچان	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۲۶/۳۶	۸۷/۷۶	بردار	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۱۶/۴۱	۱۳۵/۴۴
استاج	تراست	۷/۹۰	۶۷/۰۷۸	بالهر	تراست	۹۹/۸۲	۷۰/۶۶
شمال نیشابور	تراست	۸۰/۴۹	۸/۸۱	باغان گرماب	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۱۳/۵۸	۱۳۶/۷۹
نوخندان	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۲۰/۷۳	۱۴۲/۴۰۱	امروداک	تراست	۲۲/۸۹	۸۵/۹۸
میامی	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۳۳/۳۳	۱۱۷/۹۰	النک علیا	تراست	۳۷/۹۳	۱۱۳/۲۴
مهر	تراست	۴۴/۰۴۰	۱۰۷/۲۷	احمد آباد	تراست	۷۱/۲۵	۹۴۰/۱۲
خیرآباد	امتداد لغز با مولفه راستگرد	۵۷/۹۷	۹۰/۴۳	آبکوه	تراست	۱۹/۲۱	۷۷/۲۱
کشف رود	تراست	۱۳۸/۱۶۰	۶۳/۰۳۰	توس	تراست	۲۵/۸۱	۶۸/۷۳
کارده	تراست	۲۸/۹۳	۸۷/۴۱	نیشابور	تراست	۴۱/۲۹	۱۱/۵۹
کماس	تراست	۵۲/۵۰	۱۱۳/۹۶	بوزان	تراست	۴۱/۴۱	۱۰/۶۷
کلاته جریز	تراست	۱۲/۳۶	۲۶/۸۷	دیزباد	تراست	۴۹/۸۳	۳۳/۰۳۲
کلاته رحمان	تراست	۳۱/۶۸	۱۱۳/۹۶	جنوب مشهد	تراست	۱۵/۳۲۵	۶۱/۰۰۹

### لرزه‌خیزی گسترده مورد مطالعه

با توجه به پیشرفت‌های رویداده در دانش لرزه‌شناسی زمین‌لرزه‌ها، لرزه‌خیزی هر پهنه را می‌توان در دو دوره و دو نیم دوره بررسی نمود. از آنجا که نخستین دستگاه لرزه نگاری در سال‌های پایانی سده ۱۹ میلادی ساخته و بکار گرفته شده می‌توان تاریخچه لرزه‌خیزی هر پهنه را به دوره پیش‌دستگاهی<sup>۱</sup> که زمین لرزه‌های پیش از سده بیستم را در بر می‌گیرد و دوره دستگاهی<sup>۲</sup> تقسیم نمود.



شکل ۱: موقعیت گسل‌های فعال بروی تصاویر ماهواره‌ای لندست (۲،۴،۷)

### زمین‌لرزه‌های دوره پیش‌دستگاهی (پیش از سده بیستم)

جایگاه رویداد زمین‌لرزه‌های گذشته نشانگر رویداد زمین‌لرزه‌های آینده است. زمین‌لرزه‌های بزرگ در جایی روی خواهند داد که در گذشته شاهد رویداد چنین زمین‌لرزه‌هایی بوده‌ایم. از این رو شناخت جایگاه رویداد زمین‌لرزه‌های گذشته از اهمیت ویژه‌ای برای آینده برخوردار است. متأسفانه تاکنون در گستره مطالعاتی، هیچ‌گونه بررسی پارینه‌لرزه‌شناسی صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش از کتب و منابع مختلف جهت بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی منطقه استفاده شده است. کامل‌ترین مرجع مدون از زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران، کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شد (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). علاوه بر آن کاتالوگ زلزله و پدیده‌های طبیعی ایران زمین (بربریان، ۱۹۹۴) نیز مورد استفاده قرار گرفت که در جدول ۲ مشخصات این زمین‌لرزه‌ها و در شکل ۲ موقعیت آن‌ها در گستره مطالعاتی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر نشان داده شده است.

جدول ۲: مشخصات زمین لرزه‌های تاریخی گستره مطالعاتی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر

ردیف	تاریخ	محل	بزرگا (Ms)	گسله مسبب احتمالی
۱	۱۰۵۲	سبزوار	۷	؟
۲	۱۱۴۵	نیشابور	۵.۳	یکی از گسله های بینالود یا نیشابور
۳	۱۲۰۹	نیشابور	۷.۶	بینالود
۴	۱۲۵۱	نیشابور	>۵.۳	یکی از گسله های بینالود یا نیشابور
۵	۱۲۷۰	نیشابور	۷.۱	نیشابور
۶	۱۳۸۹	نیشابور	۷.۶	نیشابور یا بینالود
۷	۱۴۰۵	نیشابور	۷.۶	نیشابور یا بینالود
۸	۱۵۹۸	مشهد	؟	؟
۹	۱۶۱۹	دوغ آباد	؟	دوغ آباد یا جنگل
۱۰	۱۶۷۳	مشهد	۶.۶	کشف رود یا شاندیز
۱۱	۱۸۵۱	قوچان- معدن	۶.۹	بینالود یا کلیدر
۱۲	۱۸۷۱	شمال قوچان	۷.۲	؟
۱۳	۱۸۹۳	جنوب قوچان	۷.۱	قوچان
۱۴	۱۸۹۵	قوچان	۶.۸	یکی از گسله های قوچان- شیروان یا قوچان

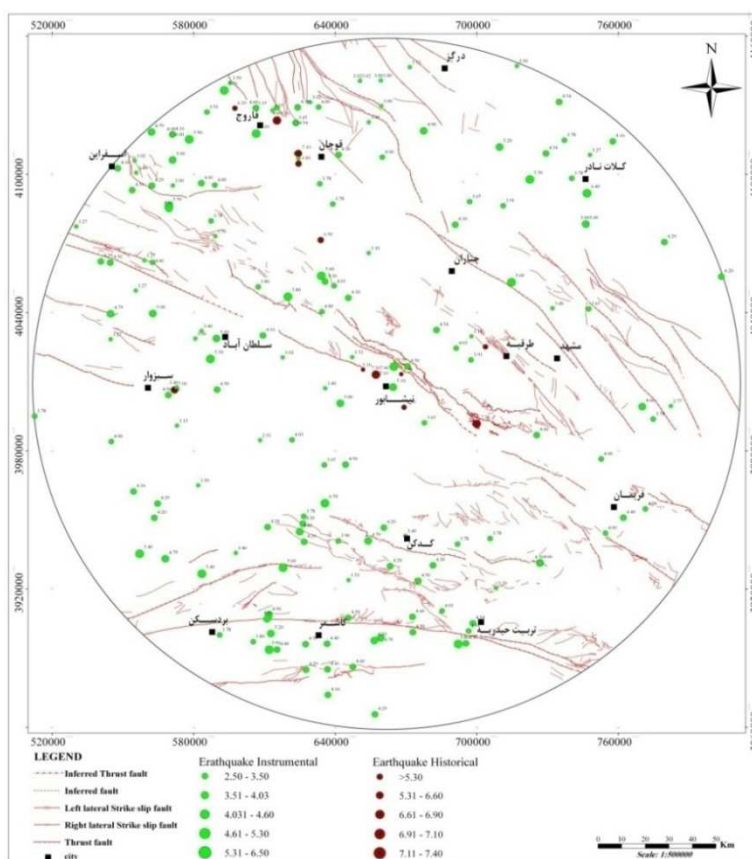
### نتیجه‌گیری از بررسی زمین لرزه‌های تاریخی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداقل چهار زمین لرزه تاریخی با بزرگای بیش از ۷/۰ در کمتر از ۲۰۰ سال (بین سال‌های ۱۲۰۹ تا ۱۴۰۵ میلادی) در نزدیکی شهر نیشابور بوقوع پیوسته است (بربریان و قریشی، ۱۹۸۹). فاصله میان دو زمین لرزه نخست (۱۲۰۹م و ۱۲۷۰م) ۶۱ سال است. بعد از ۱۱۹ سال آرامش پس از زمین لرزه دوم، به فاصله ۱۶ سال دو زمین لرزه ۱۳۸۹م و ۱۴۰۵م روی داده‌اند. پس از رویداد این چهار زمین لرزه بزرگ در گروه دوتایی و دوره میان لرزه‌های ۱۱۹ ساله، از سال ۱۴۰۵ تاکنون (سال ۲۰۱۲م) حدود ۶۰۷ سال است که نیشابور زمین لرزه ویرانگری را به خود ندیده و پهنه نیشابور دوره آرامی تا آغاز زمین لرزه ویرانگر دیگری را می‌گذراند. یکی از ویژگی‌های این ناحیه وجود گسل‌های معکوس فعال است که از روند ساختاری کوه‌های بینالود (شمال غربی - جنوب شرقی) و کمان ماگمایی نیشابور تبعیت می‌کنند. کمان ماگمایی نیشابور به واسطه فرورانش رو به شمال پوسته اقیانوسی به زیر اوراسیا در زمان ژوراسیک و کرتاسه به وجود آمده است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱: ۲۱۰). بررسی داده‌های مه‌لرزه‌ای زمین لرزه‌های نیشابور پیشنهاد می‌کند که دو زمین لرزه بزرگ ۱۲۷۰م و ۱۴۰۵م در پهنه غربی نیشابور روی داده‌اند و از این رو گسل ۴۱/۳۰ کیلومتری راندگی نیشابور می‌تواند سرچشمه این دو زمین لرزه باشد. دو زمین لرزه ۱۲۰۹م و ۱۳۸۹م در پهنه شرقی نیشابور روی داده و از این رو گسل ۹۷/۲۱ کیلومتری فشاری بینالود می‌تواند سرچشمه این دو زمین لرزه باشد. این بررسی پیشنهاد می‌کند که با رویداد هر یک از این چهار زمین لرزه بزرگ، هر یک از گسل‌های بینالود و نیشابور در درازای خود جابجا شده‌اند. از آنجا که این دو گسل خود بخشی از

گروه گسل‌هایی هستند که دیگر گسله‌هایی چون شمال‌نیشابور، اسفراین و بوژان را نیز در بر می‌گیرند، این امکان نیز وجود دارد که یکی از این گسل‌ها و یا گسله پوشیده در پهنه نیشابور نیز جابجا شدگی داشته‌اند. علاوه بر این ممکن است که گسیختگی‌ها در امتداد گسل‌های پنهان ناشناخته‌ای که در زیر چین‌های فعال و جوان دشت وجود دارند رخ داده باشد. نکته حائز اهمیت دیگر مضمون بودن فعالیت انتهای جنوب‌شرقی گسل ریوند در ارتباط با رویداد زمین لرزه‌ای با بزرگای Ms ۶/۹ در سال ۱۸۵۱ است. این زمین‌لرزه به معدن باستانی فیروزه نیز آسیب رسانده است.

### زمین‌لرزه‌های دستگاهی (سده بیستم)

زمین‌لرزه‌های سده بیستم یا دوره دستگاهی شامل دو نیم دوره "دستگاهی آغازی"<sup>۱</sup> (۱۹۰۰م تا ۱۹۶۳م) و "دستگاهی امروزی"<sup>۲</sup> (۱۹۶۴م تا ۲۰۱۲م) می‌باشد. تعداد زمین‌لرزه‌های ثبت شده در کاتالوگ‌های مختلف از جمله (IIEES)، در ساختگاه مورد مطالعه (شهر نیشابور) تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری آن ۲۴۴ عدد است که از این تعداد زمین لرزه، بر اساس حذف کردن Mw و پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها تعداد ۱۸۴ زلزله باقی ماند که در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت کانون‌های زمین‌لرزه تاریخی و دستگاهی در گستره مورد مطالعه

1- the Early Instrumental Era

2- the Modern Instrumental Era

### عمق کانونی زلزله‌های منطقه

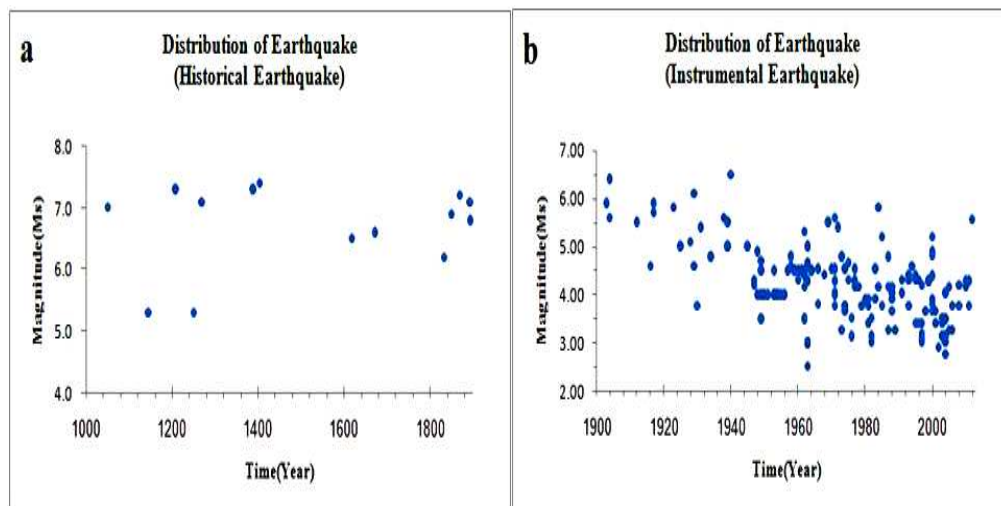
ژرفای کانونی زمین لرزه معرف فاصله قائم از سطح زمین به کانون یک زمین لرزه یعنی مکان بوجود آمدن و رها شدن انرژی یک زمین لرزه می‌باشد. از آنجا که این پارامتر نشان دهنده عمق لرزه‌خیزی یک ناحیه می‌باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. متأسفانه همان‌طور که در فهرست زمین لرزه‌های جمع‌آوری شده مشاهده می‌گردد، در بسیاری از موارد به علت فقدان اطلاعات، یا زمین لرزه‌ها بدون ژرفا اعلام شده‌اند و یا ژرفای ۳۳ کیلومتر که در واقع نشان‌دهنده سطحی بودن ژرفای زمین لرزه و عدم امکان محاسبه آن می‌باشد به طور قراردادی به این زمین لرزه‌ها نسبت داده می‌شود. لذا می‌بایست با روش‌های آماری مناسب ژرفای کانونی زمین لرزه‌ها را تصحیح نمود. در جدول (۳) توزیع آماری ژرفای کانونی زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فراوانی غیر واقعی ژرفای ۳۳ کیلومتر کاملاً مشهود می‌باشد. بطور کلی با توجه به مطالب فوق، چنین برداشت می‌شود که زمین لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه اغلب کم عمق (۱۰ Km) می‌باشند (جدول ۳). بنابراین جهت تکمیل اطلاعات زمین لرزه‌هایی که ژرفای کانونی آن‌ها اعلام نشده است بطور محافظه‌کارانه عدد ۱۰ کیلومتر به عنوان ژرفای کانونی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: توزیع آماری ژرفای کانونی زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه

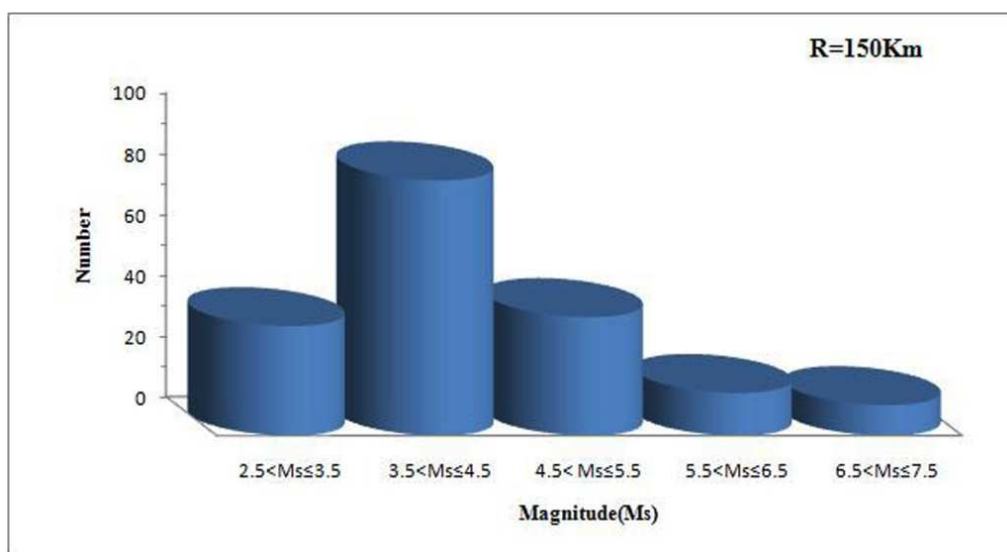
عمق	تعداد	درصد موجود در کاتالوگ نهایی
$H \leq 10$	۳۷	۲۱/۸۹
$10 < H \leq 20$	۲۵	۱۴/۷۹
$20 < H \leq 33$	۴۲	۲۴/۸۵
$H \geq 33$	۱۰	۵/۹۲
Lacks H	۶۹	۴۰/۸۳

### ویژگی‌های لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه

متداول‌ترین شیوه بررسی لرزه‌خیزی یک ناحیه مطالعه آماری فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها نسبت به بزرگا و همچنین مشاهده پراکندگی بزرگای زمین لرزه‌ها در حوزه زمان می‌باشد. پراکندگی بزرگای زمین لرزه‌های محدوده مطالعاتی در حوزه زمان در شکل ۳ و پراکندگی رابطه بزرگا- فراوانی زمین لرزه‌های در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳a: پراکندگی زمانی زمین‌لرزه‌های تاریخی در گستره مورد مطالعه (شعاع ۱۵۰ کیلومتر)  
 شکل ۳b: پراکندگی زمانی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره مورد مطالعه (شعاع ۱۵۰ کیلومتر)

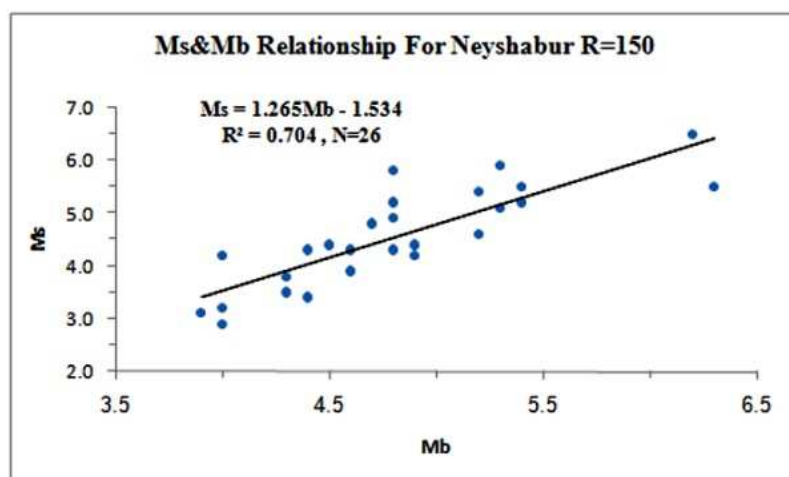


شکل ۴: رابطه بزرگا- فراوانی زمین‌لرزه‌های رویداده در گستره شعاعی مورد مطالعه

اندازه بزرگی یک زمین‌لرزه از طریق تعیین دو پارامتر بزرگا و شدت قابل تعیین است. بزرگای زمین‌لرزه یک اندازه‌گیری کمی از نیروی زمین‌لرزه می‌باشد که توسط آن امکان تعیین انرژی کل رها شده از یک زمین‌لرزه در یک مکان خاص میسر می‌گردد. حال آنکه شدت یک زمین‌لرزه بر اساس مشاهده و توصیف میزان خرابی‌های ناشی از آن استوار می‌باشد. محققین از این معیار جهت بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی استفاده می‌کنند. پر واضح است که برای مقاصد مهندسی بهتر است از پارامتر بزرگا که بر مبنای روش‌های محاسباتی تعیین می‌گردد استفاده شود.



پارامتر بزرگی دارای مقیاس‌های مختلفی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: بزرگای  $M_s$  (بزرگا در مقیاس امواج سطحی)،  $M_b$  (بزرگا در مقیاس امواج پیکری) و  $M_w$  (بزرگای گشتاوری). اکثر داده‌های زمین لرزه‌های ایران در درجه اول بر اساس بزرگای  $M_b$  و پس از آن بر حسب  $M_s$  گزارش شده‌اند. باتوجه به این‌که غالب محاسبات و روش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس بزرگای  $M_s$  می‌باشد لازم است تا با بدست آوردن رابطه‌ای مناسب بین  $M_b$  و  $M_s$  این داده‌ها تکمیل گردد. در نمودار رابطه خطی بین  $M_b$  و  $M_s$  برای زمین لرزه‌های گستره مورد مطالعه ارائه شده است. این رابطه بر اساس زمین لرزه‌هایی که هر دو بزرگای  $M_b$  و  $M_s$  آن‌ها گزارش شده است به روش آماری کمترین مربعات بدست آمده است. این رابطه برای زمین لرزه‌های به شعاع ۱۵۰ کیلومتری محدوده مورد مطالعه که از نمودار بدست آمده بصورت،  $M_s = 1.265 M_b - 1.534$  می‌باشد. ضریب همبستگی در این رابطه برابر  $0.704$  می‌باشد (شکل ۵). در این رابطه از ۲۶ زمین لرزه که داده‌های  $M_b$  و  $M_s$  آن‌ها وجود داشته است استفاده شده است. در این پژوهش از این رابطه جهت تکمیل داده‌های  $M_s$  استفاده شده است.



شکل ۵: نمودار رابطه خطی بین بزرگای  $M_b$  و  $M_s$  در گستره مطالعاتی

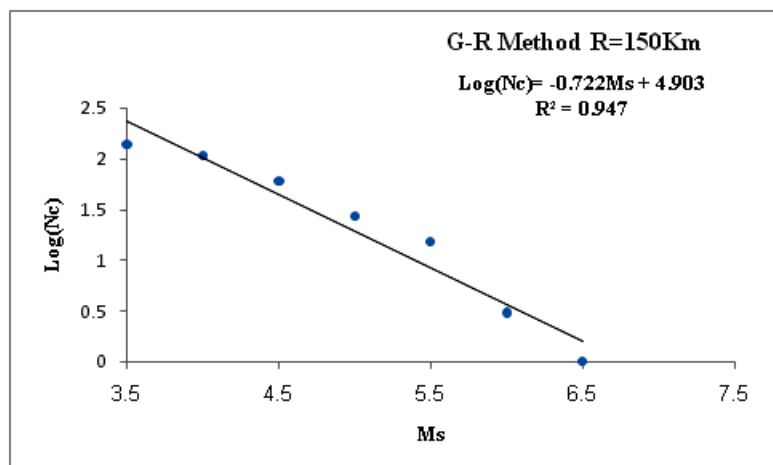
### برآورد فرمول لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه روش کلاسیک گوتنبرگ - ریشتر

این روش معروفترین و متداولترین روشی است که برای توصیف میزان لرزه‌خیزی یک ناحیه استفاده می‌شود. در این روش وضعیت لرزه‌خیزی گستره طرح به صورت ریاضی معنی‌دار شده و رابطه بزرگا- فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها تعریف می‌شود که ضرایب ثابت آن نشانگر وضعیت لرزه‌خیزی ناحیه یا چشمه مورد نظر خواهد بود. رابطه گوتنبرگ ریشتر در سال ۱۹۵۸ بصورت زیر ارائه شده است:

$$\text{Log } N_c = a - bM$$

که در آن  $N_c$ : فراوانی تجمعی،  $a$  و  $b$ : ضرائب ثابت ( $a$  نشانگر تعداد زمین لرزه‌ها با بزرگای بیش از صفر و  $b$  نشانگر فراوانی نسبی رویداد زمین لرزه‌ها با بزرگای گوناگون می‌باشد) و  $M$  بزرگای زمین لرزه است. در این پژوهش زمین لرزه‌های با بزرگای  $M_s \geq 3$ ، یک دوره ۱۱۲ ساله از سال ۱۹۰۰ تا سال ۲۰۱۲ برای منطقه نیشابور مشخص شده است.

سپس با محاسبه  $\text{Log}N$  و ترسیم آن بر حسب  $M_S$ ، پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه یعنی  $a$  و  $b$  به دست آمده است (شکل ۶).



شکل ۶: نمودار  $M_S$  در برابر  $\text{Log}N$  به منظور محاسبه فرمول لرزه‌خیزی گوتنبرگ-ریشر

$$\text{Log}(N_c) = 0.722 M_S + 2/39$$

با توجه به فرمول لرزه‌خیزی حاصل شده، در این منطقه مقادیر پارامترهای لرزه‌ای برابر  $a = 2/39$  و  $b = 0.722$  می‌باشد. ضرایب  $a$  و  $b$  پارامترهای لرزه‌خیزی هستند، به نحوی که  $a$  را به ویژگی‌های زمین ساختی ناحیه مرتبط می‌دانند و  $b$  شیب خط در نمودار  $\text{Log}N$  است.

### تعیین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها

در آمار و احتمالات فرمولی خاص وجود دارد که از آن بنام دوره بازگشت یاد می‌کنند. از این فرمول می‌توان برای محاسبه زمان وقوع دو حادثه مشابه استفاده کرد. بنابر تعریف متوسط فاصله زمانی بین یک رویداد مشخص و رویدادی بزرگتر یا معادل آن را دوره بازگشت ( $T$ ) می‌نامند که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (نوروزی و همکار، ۱۹۸۶):

$$T = 1/N$$

با توجه به اینکه  $\text{Log}N = a - bM_S$ ، لذا میانگین دوره بازگشت زمین لرزه‌ها به صورت زیر خواهد بود (جدول ۴):

$$T = 10^{-a+bM}$$

جدول ۴: برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگی مختلف برای منطقه مورد مطالعه

MS	Log(N)	N	T=1/N	MS	Log(N)	N	T=1/N
۳	۰/۲۲۴	۱/۶۷۴	۰/۵۹۷	۵/۵	-۱/۵۸۱	۰/۰۲۶۲	۳۸/۱۰۶
۳/۵	-۰/۱۳۷	۰/۷۲۹	۱/۳۷۰	۶	-۱/۹۴۲	۰/۰۱۱۴	۸۷/۴۹۸
۴	-۰/۴۹۸	۰/۳۱۷	۳/۱۴۷	۶/۵	-۲/۳۰۳	۰/۰۰۴۹۷	۲۰۰/۹۰۹
۴/۵	-۰/۸۵۹	۰/۱۳۸	۷/۲۲۷	۷	-۲/۶۶۴	۰/۰۰۲۱۶	۴۶۱/۳۱۷
۵	-۱/۲۲	۰/۰۶۰۲	۱۶/۵۹۵	۷/۵	-۳/۰۲۵	۰/۰۰۰۹۴	۱۰۵۹/۲۵۳

## برآورد پارامترهای حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی

میزان شتاب حرکت افقی زمین معمولاً در دو مرز با احتمال خطر ۱۰ و ۶۴ درصد انتخاب می‌شوند، که مرز نخست، ۱۰ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده را بیشینه زمین‌لرزه ممکنه یا باورکردنی<sup>۱</sup> (MCE) و مرز دوم، ۶۴ درصد احتمال رویداد در ۵۰ سال آینده را زمین‌لرزه پایه طرح<sup>۲</sup> (DBE) می‌نامند. محاسبه این پارامترها از طریق رابطه زیر است (پور کرمانی، ۱۳۷۶):

$$R_p = 1 - \exp(-\times T \cdot 10^{bMs - a})$$

که در آن  $a-bMs$  پارامتر لرزه‌خیزی منطقه و  $T$  عمر مفید سازه است.

لذا فرمول محاسبه DBE به شرح زیر است:  $0.64 = 1 - \exp(-\times T \cdot 10^{bMs - a})$

و برای محاسبه MCE نیز از رابطه زیر استفاده شده است.

$$0.1 = 1 - \exp(-\times T \cdot 10^{bMs - a})$$

برای منطقه مورد مطالعه برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله محاسبه گردید که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: برآورد DBE و MCE برای عمر مفید ۱۰ تا ۱۰۰ ساله.

عمر مفید سازه (T)	DBE(R=64%)	MCE(R=10%)	عمر مفید سازه (T)	DBE(R=64%)	MCE(R=10%)
۱۰	۴/۶۸	۶/۰۵	۶۰	۵/۷۶	۷/۱۳
۲۰	۵/۱	۶/۴۷	۸۰	۵/۹۳	۷/۳
۳۰	۵/۳۴	۶/۷۱	۹۰	۶	۷/۳۷
۴۰	۵/۵۲	۶/۸۸	۱۰۰	۶/۰۷	۷/۴۳
۵۰	۵/۶۵	۷/۰۲			

1- Maximum Credible Earthquake(MCE)

2- Design Basic Earthquake(DBE)

### برآورد بیشینه بزرگای منتسب به گسل‌های گستره مورد مطالعه

امروزه روابط زیادی وجود دارد که بر اساس آن‌ها می‌توان رابطه بین درازای گسل ( $L$ ) و توان ایجاد بزرگای زمین لرزه ( $M_s$ ) را محاسبه نمود. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در این پژوهش از چهار رابطه امبرسز و ملویل ۱۹۸۲، ولزو و کاپراسمیت ۱۹۹۴، سلمونز ۱۹۸۲ و مهاجر اشجعی-نوروزی ۱۹۸۷ جهت برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه استفاده شده است. جدول ۶ نتایج محاسبات را با توجه به مفروضات فوق نشان می‌دهد. با توجه به بیشینه بزرگای زمین لرزه‌های رویداده در منطقه مطالعاتی ( $M_s=7/4$ )، سعی شده است که بزرگای انتسابی به چشمه‌های لرزه‌زا از این عدد تجاوز نکند و این عدد ( $M_s=7/4$ ) به عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی در نظر گرفته شده است.

-رابطه تجربی (امبرسز و ملویل، ۱۹۸۲:۲۱۹): بر پایه زمین لرزه‌های خاورمیانه تهیه شده است.

$$M_s = 1/429 \log LR + 4/629$$

که در آن LR درازای گسل فعال به کیلومتر در پوسته‌ای به ضخامت ۱۲ کیلومتر و  $M_s$  بزرگای بر اساس موج سطحی برای زمین لرزه‌های با بزرگای برابر یا بزرگتر از ۶ درجه است.

- رابطه تجربی (ولزو و کاپراسمیت، ۱۹۹۴:۹۷۴)، بر اساس اطلاعات مربوط به ۲۴۴ زمین لرزه در سراسر جهان، از جمله ۱۲ زمین لرزه از ایران که به صورت زیر است (نقل از پورکرمانی).

$$M_s = 5 + 1/22 \log L$$

-رابطه پیشنهادی (سلمونز، ۱۹۸۲:۱۱۹)، برای گسل‌های راستالغز با درازای میان ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلومتر، درصدی میان ۱۷٪ تا ۳۸٪ درازای گسل را انتخاب نموده است. وی با توجه به سازوکار گسلش برای سه دسته بنیادی گسل‌ها، فرمول‌های زیر را معرفی کرد:

برای گسل‌های راستالغز  $M_s = 1/404 + 1/169 \log L$  برای گسل‌های فشاری  $M_s = 2/021 + 1/142 \log L$  برای گسل‌های کششی  $M_s = 0/809 + 1/341 \log L$  در فرمول‌های بالا درازای گسل ( $L$ ) بر حسب متر می‌باشد.

- رابطه تجربی (مهاجر اشجعی و نوروزی، ۱۹۸۷:۲۱) که بر پایه ۱۰ زمین لرزه بزرگ ایران و بیشینه درازای گسل زمین لرزه‌ای به طول ۸۵ کیلومتر و بزرگای  $M_s$  بیشتر از ۶ پایه‌گذاری شده است:  $M_s = 1/256 + 1/244 \log LR$  که در آن LR درازای گسل فعال به متر است.

جدول ۶- برآورد توان لرزه‌زایی گسل های مهم گستره طرح. در این جدول، L: طول گسل، Ms: بزرگی زمین لرزه، M&A: آمبرسز و ملویل (۱۹۸۲)، W&Co: ولز و کاپراسمیت (۱۹۹۴)، N&M: مهاجر اشجعی و نوروزی (۱۹۸۷)، SE: سلمونز (۱۹۸۲)، Av: میانگین

نام گسل	L(Km)	Ms(Max)					AV
		A&M	W&Co	N	SE		
					Strike Slip	Thrust	
زو بالا	۴۹/۳۳	۶/۶۱۸	۶/۷۷۸	۶/۷۲۲	۵/۵۱۸	-	۶/۶۶۴
زرقان	۳۳/۸۱	۶/۳۸۳	۶/۵۷۸	۶/۵۱۸	-	۶/۰۲۲	۶/۵۸۲
توزانلو	۳۴/۷۴	۶/۴۰۰	۶/۵۹۲	۶/۵۳۳	۵/۵۰۱	-	۶/۴۷۱
تکنار	۸۷/۴۰	۶/۹۷۳	۷/۰۸۱	۷/۰۳۱	-	۶/۰۶۶	۷/۱۰۱
شوراب	۹۳/۷۷	۷/۰۱۶	۷/۱۱۸	۷/۰۶۹	۵/۵۴۸	-	۷/۰۱۷
سریشا	۱۰۰/۰۱	۷/۰۵۶	۷/۱۵۲	۷/۱۰۴	-	۶/۰۷۲	۷/۱۷۵
سبه	۱۳/۶۷	۵/۸۲۲	۶/۰۹۸	۶/۰۲۹	-	۶/۴۰	۶/۰۸۸
سنگ بست شانديز	۹۵/۳۷	۷/۰۲۶	۷/۱۲۷	۷/۰۷۸	۵/۵۴۸	-	۷/۰۲۶
ربوند	۵۸/۲۸	۶/۷۲۱	۶/۸۶۶	۶/۸۱۲	-	۶/۰۴۸	۶/۸۸۰
قوچان	۲۶/۳۶	۶/۲۲۹	۶/۴۴۶	۶/۳۸۴	۵/۴۸۷	-	۶/۳۲۰
استاج	۷/۹۰	۵/۴۸۱	۵/۸۰۸	۵/۷۳۳	-	۵/۹۴۷	۵/۷۸۷
شمال نیشابور	۸۰/۴۹	۶/۹۳۲	۷/۰۳۷	۶/۹۸۷	-	۶/۰۶۲	۷/۰۵۶
نوخندان	۲۰/۷۳	۶/۰۸۰	۶/۳۱۹	۶/۲۵۴	۵/۴۷۵	-	۶/۱۸۷
میامی	۳۳/۳۳	۶/۳۷۴	۶/۵۷۰	۶/۵۱۰	۵/۴۹۹	-	۶/۴۴۸
مهر	۴۴/۰۴	۶/۵۴۷	۶/۷۱۸	۶/۶۶۱	-	۶/۰۳۵	۶/۷۲۷
خیرآباد	۵۷/۹۷	۶/۷۱۸	۶/۸۶۳	۶/۸۰۹	۵/۵۲۶	-	۶/۷۵۳
کشف رود	۱۳۸/۱۶	۷/۲۵۷	۷/۳۲۴	۷/۲۷۹	-	۶/۰۸۶	۷/۳۵۲
کارده	۲۸/۹۳	۶/۲۸۷	۶/۴۹۵	۶/۴۳۴	-	۶/۰۱۵	۶/۴۹۷
کماس	۵۲/۵۰	۶/۶۵۷	۶/۸۱۱	۶/۷۵۶	-	۶/۰۴۳	۶/۸۲۳
کلانه جاریز	۱۲/۳۶	۵/۷۵۹	۶/۰۴۵	۵/۹۷۵	-	۵/۹۷۱	۶/۰۳۲
کلانه رحمان	۳۱/۶۸	۶/۳۴۳	۶/۵۴۳	۶/۴۸۳	-	۶/۰۱۹	۶/۵۴۶
کلانه گوش	۲۷/۴۰	۶/۲۵۳	۶/۴۶۶	۶/۴۰۵	-	۶/۰۱۲	۶/۴۶۷
گوچی	۶۵/۵۸	۶/۷۹۵	۶/۹۲۹	۶/۸۷۶	۵/۵۳۱	-	۶/۸۲۰
قوشه چاه	۲۱/۸۴	۶/۱۱۲	۶/۳۴۶	۶/۲۸۲	۵/۴۷۸	-	۶/۲۱۶
اسفجیر	۲۱/۳۷	۶/۰۹۹	۶/۳۳۵	۶/۲۷۰	۵/۴۷۷	-	۶/۲۰۴
اسفراین	۵۹/۲۳	۶/۷۳۱	۶/۸۷۵	۶/۸۲۱	۵/۵۲۷	-	۶/۷۶۵
دشت جغتای	۸۰/۱۱	۶/۹۱۹	۷/۰۳۵	۶/۹۸۴	-	۶/۰۶۲	۷/۰۵۴
درونه ۲	۱۲۶/۴۸	۷/۳۰۲	۷/۲۷۷	۷/۲۳۱	۵/۵۶۱	-	۷/۱۸۱
درونه ۱	۶۳/۲۴	۶/۷۷۲	۶/۹۱۰	۶/۸۵۷	-	۶/۰۵۱	۶/۹۲۴
بینالود	۹۷/۲۱	۷/۰۳۹	۷/۱۳۷	۷/۰۸۹	-	۶/۰۷۱	۷/۱۵۹
بردار	۱۶/۴۱	۵/۹۳۵	۶/۱۹۵	۶/۱۲۸	۵/۴۶۳	-	۶/۰۵۹
بالهر	۹۹/۸۲	۷/۰۵۵	۷/۱۵۱	۷/۱۰۳	-	۶/۰۷۲	۷/۱۷۴
باغان گرماب	۱۳/۵۸	۵/۸۱۷	۶/۰۹۵	۶/۰۲۶	۵/۴۵۳	-	۵/۹۵۵
امروداک	۲۲/۸۹	۶/۱۴۲	۶/۳۷۱	۶/۳۰۸	-	۶/۰۰۳	۶/۳۶۹
النگ علیا	۳۷/۹۳	۶/۴۵۵	۶/۶۳۹	۶/۵۸۰	-	۶/۰۲۸	۶/۶۴۵
احمد آباد	۷۱/۲۵	۶/۸۴۶	۶/۹۷۳	۶/۹۲۱	-	۶/۰۵۷	۶/۹۹۰
آبکوه	۱۹/۲۱	۶/۰۳۳	۶/۲۷۸	۶/۲۱۳	-	۵/۹۹۴	۶/۲۷۳
توس	۲۵/۸۱	۶/۲۱۶	۶/۴۳۵	۶/۳۷۲	-	۶/۰۰۹	۶/۴۳۴
نیشابور	۴۱/۲۹	۶/۵۰۷	۶/۶۸۴	۶/۶۲۶	-	۶/۰۳۲	۶/۶۹۱
بوژان	۴۱/۴۱	۶/۵۰۹	۶/۶۸۵	۶/۶۲۸	-	۶/۰۳۲	۶/۶۹۳
دیزباد	۴۹/۸۳	۶/۶۲۴	۶/۷۸۳	۶/۷۲۸	-	۶/۰۴۰	۶/۷۹۴
جنوب مشهد	۱۵/۳۲	۵/۸۹۲	۶/۱۵۸	۶/۰۹۱	-	۵/۹۸۲	۶/۱۴۹

### برآورد شتاب افقی در کانون

برای محاسبه شتاب در محل کانون، از فرمول‌های تجربی زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Log } a_h = 0.3I_0 - 0.014 \quad \text{۱- تریفاناک و برادی (۱۹۷۵)}$$

$$\text{Log } a_v = 0.3I_0 - 0.18$$

$$\text{Log } a_h = 0.25I_0 - 0.25 \quad \text{۲- مورفی و برادی (۱۹۷۵)}$$

که در این روابط  $a_h$  شتاب افقی در کانون،  $a_v$  شتاب قائم در کانون و  $I_0$  شدت نسبی زلزله در کانون زلزله بر حسب مقیاس مرکالی می‌باشد.

برای برآورد سرعت افقی و قائم بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه در کانون از فرمول تریفاناک و برادی (۱۹۷۵) استفاده می‌شود:

$$\text{Log } V_h = 0.63 + 0.25 I_0$$

$$\text{Log } V_v = -1.1 + 0.28 I_0$$

در این روابط  $V_h$  سرعت افقی در کانون و  $V_v$  سرعت قائم در کانون می‌باشد.

حداکثر جابجاشدگی افقی ( $D_h$ ) و قائم ( $D_v$ ) بر حسب سانتی‌متر در کانون نیز با فرمول‌های تریفاناک و برادی (۱۹۷۵) قابل محاسبه است.

$$\text{Log } D_h = -0.53 + 0.19I_0$$

$$\text{Log } D_v = -1.13 + 0.24 I_0$$

پارامترهای حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی بالا محاسبه و نتایج آن در جدول ۷ آمده است.

### برآورد بیشینه شتاب گرانش افقی زمین (PGA)

برای محاسبه بیشینه شتاب گرانش افقی زمین از رابطه‌های ذیل استفاده شده است و نتایج حاصل از برآورد فرمول‌ها در جدول ۸ ارائه گردیده است.

- دستور آزمایشی استوا (۱۹۷۰) (نقل از پورکرمانی و همکار، ۱۳۷۶): با استفاده از زمین‌لرزه‌های رویداده در کشور های گوناگون.  $Y = 1.08 \exp^{(0.5MS)/(R+25)} / 1.32$  که در آن  $Y$  بیشینه شتاب گرانش افقی زمین،  $Ms$  بزرگی زمین لرزه و  $R$  فاصله کانونی بر حسب کیلومتر است

- دانووان (۱۹۷۳) بر پایه بررسی ۶۷۰ شتاب نگاشت که ۱۰۰ تا آن مربوط به زمین‌لرزه‌های ژاپن و ۲۱۰ تا آن از شتاب نگاشت‌های کالیفرنیا بودند، دستور آزمایشی زیر را بدست آورده است:

$$Y = 1.1 \exp^{(0.5*M)/(R+25)} / 1.32$$

که در آن  $M$  بزرگی زمین‌لرزه است دستور بالا برای بزرگی  $M_b$  به صورت زیر درآمده است.

$$Y = 0.42 \exp^{(0.665*M_b)/(R+25)} / 1.32$$

دستور نخست برای زمین‌لرزه‌های کالیفرنیا به این شرح است:

$$Y = 1.320 \exp^{(0.58*M_b)/(R+25)} / 1.52$$

-دمز ومور (۱۳۷۹) دستور بالا را با تغییراتی برای ایران به صورت زیر در آورده است:

$$Y = 1.080 \exp^{(0.58*M_b)/(R+25)} / 1.32$$

-دستور میرایی کمپبل (۱۹۸۱) دستور جهانی برای زمین‌لرزه‌های کم‌ژرف با بزرگی میان ۵ الی ۷/۷ و فاصله‌های کمتر از ۵۰ کیلومتر میان سرچشمه زمین‌لرزه و جایگاه ساختگاه و برای زمانی که پی بر روی سنگ و یا رسوبات آبرفتی ستبر تر از ۱۰ کیلومتر قرار دارد به صورت زیر است:

$$Y = 0.0159 \exp^{(0.868*M)} * [R + 0.0606 \exp(0.7M)]^{-1.09}$$

که در آن  $M = M_L$  برای  $M < 6$  ( $M_L$  بزرگی محلی) و  $M = M_s$  برای  $M > 6$   
 - روش‌سندل و ناصر نعمت (۱۹۷۸) دستور آزمایشی زیر را برای ایران به‌این صورت نوشته است:  

$$Y = 5.2 \exp^{(0.8M)} / (R+40)^2$$

### پهنه‌بندی خطر لرزه‌خیزی در گستره نیشابور با استفاده از GIS

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با قابلیت جمع‌آوری داده‌های مکانی و غیرمکانی، ذخیره‌سازی، تغییر و تحول، آنالیز، مدل‌سازی و نمایش اطلاعات غیرمکانی، می‌تواند به عنوان علم و فن‌آوری بهینه، در جهت سازماندهی و تجزیه و تحلیل جامع و سریع اطلاعات و کمک به اخذ تصمیمات مناسب در مدیریت بحران، مورد استفاده قرار گیرد. برای تهیه نقشه خطر لرزه‌خیزی در گستره مورد مطالعه، ابتدا بانک داده‌های شتاب‌گرانش افقی PGA برای شبکه‌ای از نقاط (۸۷۴۷) در گستره مورد مطالعه در نظر گرفته شد. در این راستا در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از اکستنشن جانبی X-Tools طول گسل‌ها محاسبه گردید، سپس با کمک نرم‌افزار Arcview با استفاده از ابزار Demography analysis فاصله هر گسل تا مرکز هر شبکه بدست آمد و بیشینه شتاب‌گرانش زمین با توجه به توان لرزه‌زایی و طول گسل محاسبه و بزرگترین شتاب به عنوان مبنای پهنه‌بندی در نظر گرفته شد. نقاطی که در شبکه طراحی شده و دارای PGA مشخص بودند درون‌یابی<sup>۱</sup> شدند و برای کل گستره مورد مطالعه مقادیر PGA برآورد شد.

جدول ۷: برآورد پارامترهای حرکتی زمین با استفاده از روابط تجربی. در این جدول  $I_0$ : شدت زمین لرزه در محل کانون زمین لرزه (مرکالی)، M&B: مورفی و برادی (۱۹۷۵)، T&B: تریفاناک و برادی (۱۹۷۵)،  $ah$ : شتاب افقی،  $av$ : شتاب قائم،  $Vh$ : سرعت افقی،  $Vv$ : سرعت قائم،  $Dh$ : جابجایی افقی،  $Dv$ : جابجایی قائم

نام گسل	$I_0$	$ah$ (cm/s <sup>2</sup> )			$av$ (cm/s <sup>2</sup> )	$Vh$ (cm/s)	$Vv$ (cm/s)	$Dh$ (cm)	$Dv$ (cm)
		M&B	T&B	Av	T&B	T&B	T&B	T&B	T&B
زو بالا	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
زرقان	۸/۵	۲۳۷	۳۴۴	۲۹۰/۵	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
توزانلو	۸/۵	۲۳۷	۳۴۴	۲۹۰/۵	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
تکنار	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
شوراب	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
سروش	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
سبه	۷/۵	۱۳۳	۱۷۲	۱۵۲/۵	۱۱۷	۳۲۰	۱۰	۸	۹
سنگ بست شاندریز	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
ریوند	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
قوچان	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
استاج	۷/۵	۱۳۳	۱۷۲	۱۵۲/۵	۱۱۷	۳۲۰	۱۰	۸	۹
شمال نیشابور	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
نوخندان	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
میامی	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
مهر	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
خیرآباد	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
کشف رود	۱۰	۵۶۲	۹۶۸	۷۶۵	۶۶۱	۱۳۴۹	۵۰	۲۳	۴۷
کارده	۸/۵	۲۳۷	۳۴۴	۲۹۰/۵	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
کماس	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
کلاته جازیز	۷/۵	۱۳۳	۱۷۲	۱۵۲/۵	۱۱۷	۳۲۰	۱۰	۸	۹
کلاته رحمان	۸/۵	۲۳۷	۳۴۴	۲۹۰/۵	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
کلاته گوش	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
گوجگی	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
قوشه چاه	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
اسفنجیر	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
اسفراین	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
دشت جغتای	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
درونه ۲	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
درونه ۱	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
بینالود	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
بردار	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
بالهر	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
باغان گرماب	۷/۵	۱۳۳	۱۷۲	۱۵۲/۵	۱۱۷	۳۲۰	۱۰	۸	۹
امروداک	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
النگ علیا	۸/۵	۲۳۷	۳۴۴	۲۹۰/۵	۲۳۴	۵۶۹	۱۹	۱۲	۱۸
احمدآباد	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
آبکوه	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
توس	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳
نیشابور	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
بوزان	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
دیزباد	۹	۳۱۶	۴۸۵	۴۰۰/۵	۳۳۱	۷۵۹	۲۶	۱۵	۲۵
جنوب مشهد	۸	۱۷۸	۲۴۳	۲۱۰/۵	۱۶۶	۴۲۷	۱۴	۱۰	۱۳



جدول ۸: بیشینه شتاب محتمل در محدوده مورد مطالعه که در این جدول L: طول گسل، R: نزدیکترین فاصله گسل تا ساختگاه، Es: استوا (۱۹۷۰)، D&M: دمز و مر، C: کمپبل (۱۹۸۱)، R&N: روشندل و ناصر نعمت (۱۹۷۸)

نام گسل	L(Km)	R(Km)	Ms	PGA				
				Es	D&M	C	R&N	Av
زو بالا	۴۹/۳۳۳	۱۱۴/۷۲	۶/۶۶۴	۰/۰۴۴	۰/۰۷۵۸	۰/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۴۹۳
زرقان	۳۳/۸۱۰	۹۹/۹۰۵	۶/۵۸۲	۰/۰۴۹	۰/۰۸۳۹	۰/۰۲۹	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴۴
توزانلو	۳۴/۷۴۷	۱۲۹/۹۵	۶/۴۷۱	۰/۰۳۵	۰/۰۵۹۲	۰/۰۲۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۸۴
تکنار	۸۷/۴۰۳	۸۴/۵۹۱	۷/۱۰۱	۰/۰۷۶	۰/۱۳۴۷	۰/۰۵۳	۰/۰۹۸	۰/۰۸۸۳
شوراب	۹۳/۷۷۳	۱۲۲/۶۲	۷/۰۱۷	۰/۰۴۹	۰/۰۸۶۶	۰/۰۳۴	۰/۰۵۳	۰/۰۵۶۸
سریشا	۱۰۰/۰۰۱	۶۱/۸۷۳	۷/۱۷۵	۰/۱۰۷	۰/۱۹۱۱	۰/۰۷۷	۰/۱۵۵	۰/۱۲۵۳
سبه	۱۳/۶۷۹	۱۰۱/۴۸	۵/۹۵۹	۰/۰۳۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۱۷	۰/۰۳۰	۰/۰۳۶۸
سنگ بست شانديز	۹۵/۲۷۶	۴۳/۱۰۱	۷/۰۲۶	۰/۱۳۷	۰/۲۴۱۷	۰/۰۹۶	۰/۲۰۷	۰/۱۵۸۷
ريوند	۵۸/۲۸۶	۴۰/۰۲۰	۶/۸۸۰	۰/۱۳۶	۰/۲۳۶۰	۰/۰۹۲	۰/۱۹۹	۰/۱۵۴۹
قوچان	۲۶/۳۶۷	۸۷/۷۶۶	۶/۳۲۰	۰/۰۴۹	۰/۰۸۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۴۹	۰/۰۵۳۲
استاج	۷/۹۰۲۹	۶۷/۰۷۸	۵/۷۸۷	۰/۰۴۹	۰/۰۷۹۱	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶	۰/۰۵۰۷
شمال نیشابور	۸۰/۴۹۳	۸۸/۱۶۳	۷/۰۵۶	۰/۳۵۲	۰/۶۱۹۸	۰/۳۲۵	۰/۶۱۷	۰/۴۳۲۵
نوخندان	۲۰/۷۳۰	۱۴۲/۴۰	۶/۱۸۷	۰/۰۲۷	۰/۰۴۵۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲۹۲
میامی	۳۳/۳۳۱	۱۱۷/۹۰	۶/۴۴۸	۰/۰۳۸	۰/۰۶۵۰	۰/۰۲۲	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲۱
مهر	۴۴/۰۴۰	۱۰۷/۲۷	۶/۷۲۷	۰/۰۴۹	۰/۰۸۴۵	۰/۰۲۱	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵۰
خیرآباد	۵۷/۹۷۴	۹۰/۴۳۲	۶/۷۵۳	۰/۰۵۹	۰/۱۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶۹
کشف رود	۱۳۸/۱۶	۶۳/۰۳۰	۷/۳۵۲	۰/۱۱۵	۰/۲۰۸۰	۰/۰۸۶	۰/۱۷۵	۰/۱۳۶۸
کارده	۲۸/۹۳۹	۸۷/۴۱۷	۶/۴۹۷	۰/۰۵۴	۰/۰۹۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۵۷	۰/۰۵۹۴
کماس	۵۲/۵۰۷	۱۱۳/۹۶	۶/۸۲۳	۰/۰۴۸	۰/۰۸۳۸	۰/۰۳۱	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴۷
کلاته جاریز	۱۲/۳۶۴	۲۶/۸۷۹	۶/۰۳۲	۰/۱۲۰	۰/۱۹۴۵	۰/۰۷۰	۰/۱۴۴	۰/۱۲۸۴
کلاته رحمان	۳۱/۶۸۲	۱۱۳/۹۶	۶/۵۴۶	۰/۰۴۲	۰/۰۷۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۱	۰/۰۴۶۳
کلاته گوش	۳۷/۴۰۷	۹۶/۴۷۸	۶/۴۶۷	۰/۰۴۸	۰/۰۸۱۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۹	۰/۰۵۲۷
گوچی	۶۵/۵۸۱	۱۰۰/۸۰	۶/۸۲۰	۰/۰۵۵	۰/۰۹۵۴	۰/۰۳۵	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳۲
قوشه چاه	۳۱/۸۴۸	۱۳۸/۴۹	۶/۲۱۶	۰/۰۳۱	۰/۰۵۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳۳
اسفجیر	۳۱/۳۷۱	۱۳۸/۸۳	۶/۲۰۴	۰/۰۳۱	۰/۰۵۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳۰
اسفراین	۵۹/۲۳۶	۹۶/۰۶۵	۶/۷۶۵	۰/۰۵۶	۰/۰۹۷۲	۰/۰۳۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶۳۲
دشت جغتای	۸۰/۱۱۹	۶۸/۸۳۹	۷/۰۵۴	۰/۰۹۱	۰/۱۶۰۹	۰/۰۶۳	۰/۱۲۳	۰/۱۰۵۲
درونه ۲	۱۲۶/۴۸	۱۰۴/۱۳	۷/۱۸۱	۰/۰۶۴	۰/۱۱۳۶	۰/۰۴۶	۰/۰۷۸	۰/۰۷۴۷
درونه ۱	۶۳/۲۴۷	۱۰۹/۶۷	۶/۹۲۴	۰/۰۵۳	۰/۰۹۲۶	۰/۰۳۵	۰/۰۵۹	۰/۰۶۰۶
بینالود	۹۷/۲۱۱	۱۳۳/۰۶	۷/۱۵۹	۰/۳۱۵	۰/۵۶۰۱	۰/۲۶۹	۰/۵۶۴	۰/۳۸۱۸
بردار	۱۶/۴۱۴	۱۳۵/۴۴	۶/۰۵۹	۰/۰۲۷	۰/۰۴۴۵	۰/۰۱۴	۰/۰۲۱	۰/۰۲۸۶
بالهر	۹۹/۸۲۷	۷۰/۶۶۲	۷/۱۷۴	۰/۰۹۴	۰/۱۶۸۱	۰/۰۶۷	۰/۱۳۱	۰/۱۱۰۲
باغان گرماب	۱۳/۵۸۵	۱۳۶/۷۹	۵/۹۵۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	۰/۰۲۶۶
امروداک	۲۲/۸۹۹	۸۵/۹۸۱	۶/۳۶۹	۰/۰۵۲	۰/۰۸۶۶	۰/۰۲۹	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵۹
النگ علیا	۳۷/۹۳۵	۱۱۳/۲۴	۶/۶۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۷۶۱	۰/۰۲۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۹۵
احمد آباد	۷۱/۲۵۹	۹۴/۰۱۲	۶/۹۹۰	۰/۰۶۴	۰/۱۱۳۲	۰/۰۴۴	۰/۰۷۷	۰/۰۷۴۱
آیکوه	۱۹/۲۱۶	۷۷/۲۱۳	۶/۲۷۳	۰/۰۵۵	۰/۰۹۱۴	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸۹
نوس	۲۵/۸۱۰	۶۸/۷۳۸	۶/۴۳۴	۰/۰۶۷	۰/۱۱۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۷۲۸
نیشابور	۴۱/۲۹۸	۱۱/۵۹۰	۶/۶۹۱	۰/۲۶۴	۰/۴۵۳۰	۰/۲۲۴	۰/۴۱۲	۰/۳۱۳۸
بوژان	۴۱/۴۱۸	۱۰/۶۷۴	۶/۶۹۳	۰/۲۷۳	۰/۴۶۷۹	۰/۲۳۸	۰/۴۲۸	۰/۳۲۶۶
دیزباد	۴۹/۸۳۳	۳۳/۰۳۲	۶/۷۹۴	۰/۱۵۱	۰/۲۶۱۰	۰/۱۰۳	۰/۲۲۳	۰/۱۷۲۰
جنوب مشهد	۱۵/۳۲۵	۶۱/۰۰۹	۶/۱۴۹	۰/۰۶۵	۰/۱۰۶۷	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	۰/۰۶۸۹

## پردازش اطلاعات و ارائه مدل پهنه‌بندی لرزه‌ای در گستره مورد مطالعه توسط ابزار تحلیل‌گر زمین آماری در نرم‌افزار ArcGIS

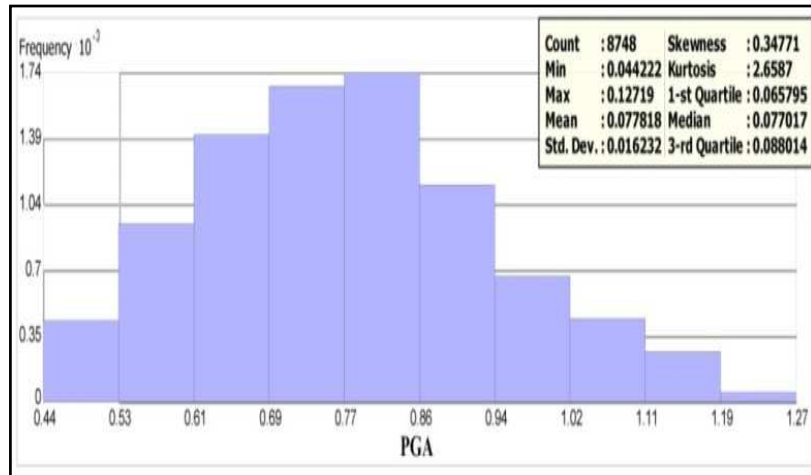
ابزار Geostatistical Analyst برای تحلیل‌های زمین‌آماري در محیط نرم‌افزاری ArcGIS طراحی شده است که برای ارزیابی خصوصیات آماری اطلاعات مانند: تغییرات فضایی و وابستگی فضایی داده‌ها و تعیین روند جهانی اطلاعات بکار می‌رود. با بهره‌گیری از این نرم‌افزار می‌توان نقشه‌های متفاوتی شامل: نقشه پیشگویی<sup>۱</sup>، نقشه احتمال<sup>۲</sup>، نقشه خطای استاندارد پیشگویی<sup>۳</sup> و نقشه هم‌مساحت<sup>۴</sup> را تهیه نمود.

در ابزار Wizard Geostatistical، بررسی توزیع داده‌ها، تغییرنما، روند، هم‌سانگردی و ناهم‌سانگردی داده‌ها در کنار هم امکان‌پذیر است. در این تحقیق برای ایجاد نقشه پیشگویی خطر زمین‌لرزه با استفاده از ابزار کنترل اعتبار مدل، مناسب‌ترین روش درونیابی با کمترین خطا انتخاب گردید، که روش کریجینگ معمولی کمترین خطا را نشان می‌داد. بدین صورت که با روش‌های مختلف از جمله کریجینگ ساده، کریجینگ جهانی و روش معکوس فاصله (IDW) میان‌یابی انجام شد، روشی که بهترین نقشه پیشگویی را با کمترین خطا به وجود آورد روش کریجینگ معمولی بود.

### بررسی توزیع داده‌های مورد مطالعه

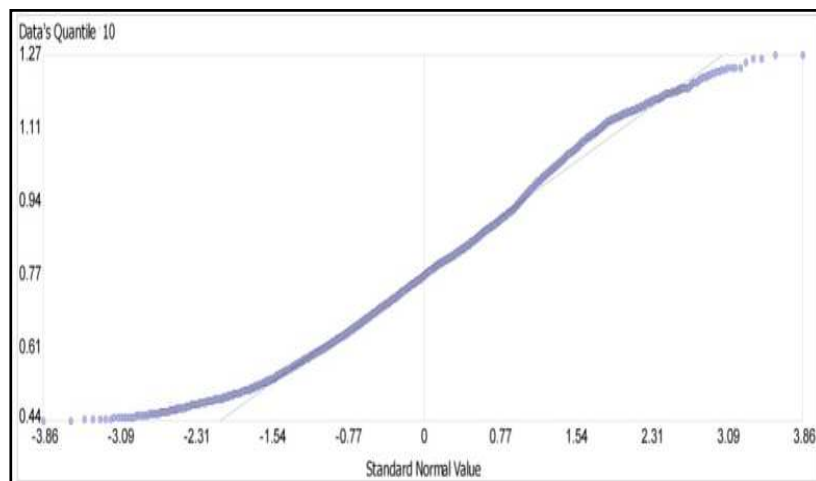
در نرم‌افزار ArcGIS با کمک دو ابزار Histogram و QQplot می‌توان توزیع داده‌ها را بررسی و در صورت لزوم آن را نرمال کرد. در استفاده از ابزار هیستوگرام، توزیع داده‌ها در صورتی نرمال خواهد بود که مقدار چولگی<sup>۵</sup> نزدیک به صفر، مقدار کشیدگی<sup>۶</sup> نزدیک به ۳ و مقادیر میانه و میانگین به هم نزدیک باشند (کوپن و همکاران، ۲۰۰۱). در استفاده از ابزار QQplot، توزیع داده‌ها در صورتی نرمال خواهد بود که نقاط داده به خط برازش شده نزدیک‌تر باشند. با وجود این در ابزار Histogram و QQplot روش‌های نرمال‌سازی Log و BoxCox و Arcsin برای داده‌ها به کار گرفته شد تا نتیجه بهتری بدست‌آید. میانگین داده‌های شتاب‌گرايش زمین ۰/۰۷۷۸۱۸، میانه داده‌ها ۰/۰۷۷۰۱۷، چولگی ۰/۳۴۷۷۱ و میزان کشیدگی ۲/۶۵۸۷ را نشان می‌دهند (شکل ۷).

- 
- 1-Prediction map
  - 2- Probability map
  - 3- Prediction standard error map
  - 4-Quantile map
  - 5-Skewness
  - 6-Kurtosis



شکل ۷: هیستوگرام توزیع نرمال داده‌های شتاب گرانش زمین در نرم‌افزار ArcGIS

شکل ۸، نمودار QQplat برای داده‌های شتاب گرانش زمین را نشان می‌دهد توزیع داده‌ها روی یک خط نشان دهنده‌ی توزیع نرمال داده‌ها می‌باشد.

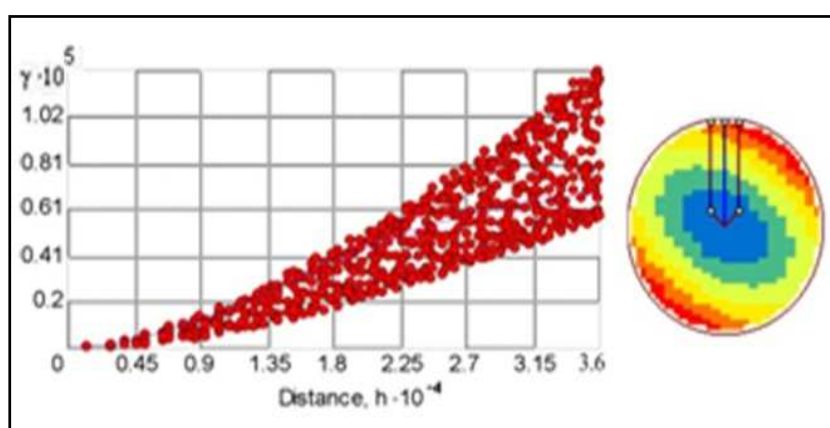


شکل ۸: نمودار QQplat برای داده‌های شتاب گرانش زمین در نرم‌افزار ArcGIS

### بررسی همسانگردی<sup>۱</sup> و ناهمسانگردی داده‌ها

به تغییرات دامنه تأثیر و یا سقف تغییرنا در جهات مختلف ناهمسانگردی گفته می‌شود. داده‌ها تا یک فاصله معین و نیز در جهت مشخصی دارای شباهت بیشتری به یکدیگر می‌باشند که به آن همسانگردی گویند و به همین دلیل تغییرنا ابزار سودمندی برای تشخیص ناهمگنی‌هایی است که موجب بروز ناهمسانگردی می‌شود. برای این منظور کافی است ابتدا تغییرنا در جهات مختلفی رسم شود و سپس این تغییرناها با هم مقایسه گردند

(دمرز، ۲۰۰۵، سالیوان و آنوین، ۲۰۰۳). در این مطالعه مدل‌های مختلف تغییرنا از جمله مدل کروی، نمایی و گوسی با روش سعی و خطا بکار گرفته شد. در این مرحله علاوه بر تغییر مدل میان‌یابی در هر مرحله تعداد لاگ‌ها و طول آن‌ها تغییر داده شد و در نهایت مدل گوسی، با تعداد لاگ‌های ۱۰ با طول ۲۰۰۰ مناسب تشخیص داده شد. در بررسی همسانگردی و ناهمسانگردی داده‌ها با تغییر جهت، بهترین خط برازش شده نمودار تغییرنا تقریباً در جهت N بود که ناهمسانگردی کمتر و همبستگی بیشتری را نشان می‌داد. نمودار تغییرنا و سطح ناهمسانگردی برای نشان دادن جهت بیشترین همبستگی بین داده‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است.

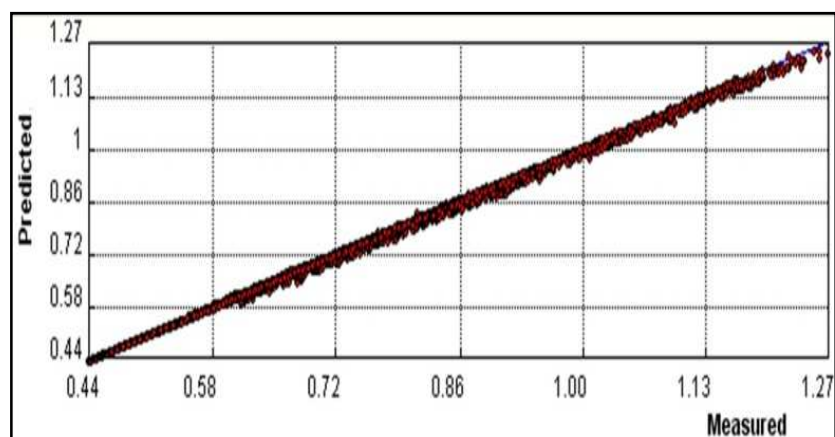


شکل ۹: نمودار تغییرنا و سطح ناهمسانگردی بدست آمده در جهت N در نرم‌افزار ArcGIS

### بررسی کنترل اعتبار تغییرنا جهت ارزیابی اعتبار نقشه

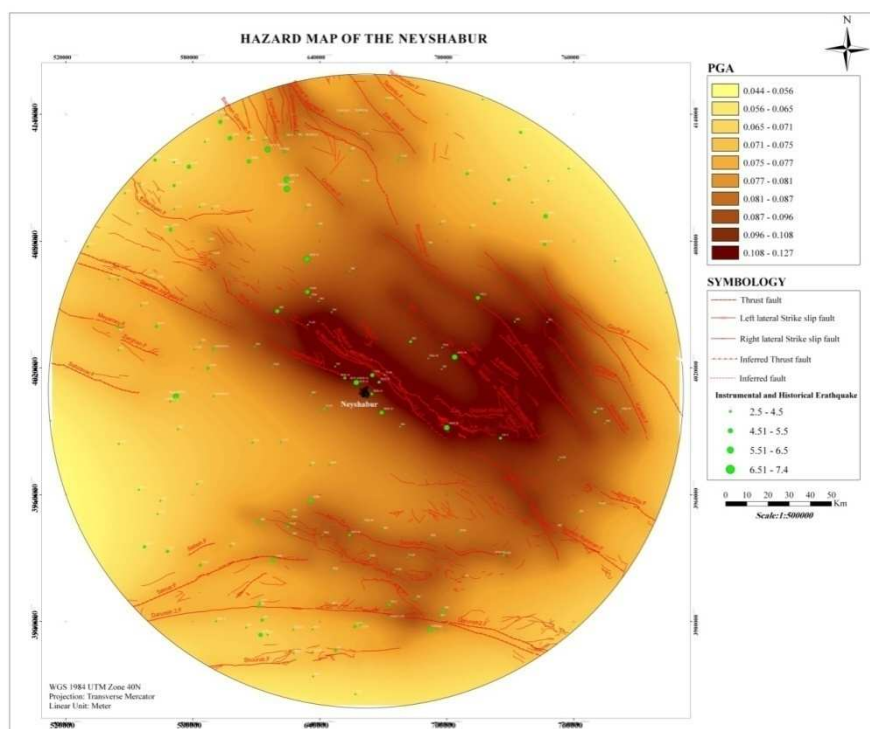
کنترل اعتبار در واقع تخمین هر نقطه نمونه‌برداری شده در یک ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه همسایه بدون در نظر گرفتن خود آن نمونه با روش کریجینگ است. این مقادیر با مقادیر اصلی مقایسه می‌گردد و در نهایت صحت مقادیر پیشگویی شده بررسی می‌شود. اگر مدل دقیق پیش‌بینی شده باشد داده‌ها باید روی یک خط ۱:۱ قرار گیرند و خطای میانگین<sup>۱</sup> نزدیک صفر باشد و خطای ریشه دوم میانگین<sup>۲</sup> و خطای استاندارد میانگین<sup>۳</sup> باید در حد امکان کوچک و خطای استاندارد ریشه دوم میانگین<sup>۴</sup> باید به یک نزدیک شود (کوین و همکاران، ۲۰۰۱). در این پژوهش خصوصیات ارزیابی اعتبار نقشه برای مدل کریجینگ ساده خطای میانگین ۰/۰۰۰۰۰۲۱۹۶، خطای ریشه دوم میانگین ۰/۳۹۵۷، خطای استاندارد میانگین ۰/۰۰۰۵۳۴۲ و خطای استاندارد ریشه دوم میانگین ۰/۷۴۱۲ بدست آمد که در بین روش‌های آزمایش شده دقت بیشتری را نشان می‌دادند (شکل ۱۰).

- 
- 1-Mean error
  - 2-Root-Mean-Square error
  - 3-Mean standard error
  - 4-Root-Mean-Square standard error



شکل ۱۰: نمودار کنترل اعتبار تغییرنا که نشان دهنده‌ی مدل مناسب انتخاب شده‌است.

سرانجام نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه نیشابور (به شعاع ۱۵۰ کیلومتر) بر اساس شتاب افقی زمین با توجه به تأثیر گسل‌ها بر روی آن نیز تهیه و ترسیم گردید (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه گستره مورد مطالعه

**نتیجه‌گیری:**

با توجه به مجموع مطالعات انجام پذیرفته، گستره مورد مطالعه از نظر لرزه‌خیزی جزء، یکی از مناطق جنوبی ایران محسوب می‌گردد. که با توجه به دوره بازگشت طولانی زمین‌لرزه‌ها در این منطقه، رخداد زمین‌لرزه‌های شدید در آن دور از ذهن نیست.

رابطه گوتنبرگ-ریشتر با استفاده از داده‌های بولتن جهانی USGS برای گستره مورد مطالعه در یک دوره ۱۱۲ سال محاسبه گردید که در آن مقدار  $a$  برابر با ۲/۳۹ و مقدار  $b$  برابر ۰/۷۲۲ می‌باشد و بر طبق آن دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ای با بزرگی هفت ریشتر، تقریباً هر ۴۶۱/۳۱۷ سال است.

بخش‌های شمالی شهرهای مهم نظیر نیشابور، فیروزه، قدمگاه، ملک‌آباد و بخش غربی شهر طرقله و همچنین بخش جنوبی شهر مشهد به دلیل نزدیک بودن به گسل‌های جنوبی‌ترین خطر لرزه‌خیزی را دارا می‌باشند، رعایت ضوابط مهندسی در ساخت‌سازها ضروری است.

این گونه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه هنگامی که مطالعه موردی و خاص برای یک ساختگاه معین امکان پذیر نباشد، ابزار عملی مناسب و راهنمای مفیدی برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه به شمار می‌آیند. بیشینه شتاب افقی وارد بر شهر نیشابور  $g$  ۰/۴۳۳ شتاب ثقل زمین، از گسل شمال نیشابور با توان لرزه‌زایی ۷/۰۵۷ ریشتر است، این در صورتی است که گسل در فاصله ۸/۸۲ کیلومتری شهر نیشابور فعالیت کند.

ضریب D.B.E که زمین‌لرزه مبنای طرح و سازه‌ها می‌باشد، در ۲۰ سال آینده، زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵/۱، در ۵۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵/۶۵، در ۸۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵/۹۳ و در ۱۰۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۶/۰۷، با احتمال وقوع ۶۴ درصد را مطرح می‌سازد.

ضریب M.C.E که بیشینه زمین‌لرزه باور کردنی است، در ۲۰ سال آینده، زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۶/۴۷، در ۵۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷/۰۲، در ۸۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷/۳ و در ۱۰۰ سال آینده زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۷/۴۳، با احتمال وقوع ۱۰ درصد را مطرح می‌سازد.

## منابع

- ۱- آمبرسز، ملویل، (۱۳۷۰). ترجمه ابوالحسن رده. موسسه انتشارات آگاه.
- ۲- پور کرمانی، و آری، (۱۳۷۶). لرزه‌زمین‌ساخت. انتشارات شرکت مهندسی دزآب.
- ۳- نبوی، (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- 4-Alavi, M., (1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, *Geol.Soc.Of Amer.*, V.103,362-370
- 5-Ambraseys NN and Melville CP (1982) A history of Persian earthquakes. Cambridge University press, London, pp: 219.
- 6-Berberian, M., (1994). Natural Hazards and the first earthquake catalogue of Iran. Vol. 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603 p. in English & 66 p. in Persian.
- 7-Berberian, M., and Qorashi, M., (1989). Seismotectonic and earthquake - fault hazard study of the Neyshabur Power Plant Site, Moshanir Consulting Engineers, Internal Report, Ministry of Power, Tehran, 145p. (in Persian).
- 8-Berberian, M., King, G.C.P., (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265.
- 9-Campbell, K.W., (1981). Near source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 2039-2070
- 10-Demers, M.N., (2005). *Fundamental of geographic information system*: John Wiley & Sons.
- 11-Donovan, N. (1973). Earthquake hazards for building practices for disaster mitigation. *Building Science Series* 46, Nat. Bur. of Standards, U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C., p82-110
- 12-Esteva, L., (1970). Seismic risk and design criteria for nuclear power plants. R.J. Jansen (ed), MT Press, Cambridge, Mass. 142-182
- 13-International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), <http://www.iiees.ac.ir>
- 14-Kevin, J., Jay, M., Konstantin, K. & Neil, L., (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, ESRI.
- 15-Mohajer-Ashjai, A. & Nowroozi, A.A., 1987, "Observed and probable intensity zoning of Iran", *Tectonophysics*, Vol.49: 21-30.
- 16-Nowroozi, A.A., 1985, "Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquake in Iran", *Bull Seis. Soc. Am.*, Vol. 75 (5): 1327-1338.
- 17-Nowroozi, A.A., Ahmadi, G., (1986). Analysis of earthquake risk in Iran based on seismotectonic provinces. *Tectonophysics*, volume: 122
- 18- O'Sullivan, D. and Unwin, D.J. (2003) *Geographic Information Analysis* (John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NY, 436 pages). This text can be purchased directly. [www.statistics.com/ourcourses/geostatistics](http://www.statistics.com/ourcourses/geostatistics)
- 19-Slemmons, D.B., (1982). Determination of design earthquake magnitude for micrization. *Proc. 3rd Int. Earthquake Micro. Conf.*, VI, 119-130
- 20-Trifunac, M.D., and Brady, A.G., (1975). On the correlation of seismic intensity scales with peaks in recorded strong motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65. 139-173
- 21-Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., (1994). New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. AM.*, Vol. 84, No. 4, p. 974-1002